کارایی روش پاسخ سطح در بهینه‌سازی حذف کریستال ویوله از محیط‌های آبی به وسیله کاه جو اصلاح‌شده

عبدالایمان عمویی[1]، حسینعلی اصغرنیا[1]، کمال‌الدین کریمیان[2]، یوسف مهدوی[3]، داود بلارک[3] و سید مهدی قاسمی[4*]

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بابل، ایران

۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۳. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

٤. گروه مهندسی بهداشت محیط، معاونت بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بابل، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۳/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۳۰

چکیده

زمینه و هدف: یکی از مهمترین منابع آلودگی محیط زیست رنگ ناشی از فاضلاب صنایع رنگ می‌باشد که برای انسان و محیط‌زیست مخاطراتی ایجاد می کند. لذا هدف از این مطالعه، بررسی کارایی حذف رنگ کریستال ویوله از محیط‌های آبی با استفاده از کاه جو اصلاح شده با اسید سیتریک توسط روش پاسخ سطح می‌باشد.

مواد و روش کار: این مطالعه، یک پژوهش تجربی-آزمایشگاهی می‌باشد. از آزمایشات ناپیوسته به منظور ارزیابی اثر pH، غلظت رنگ، دوز جاذب و زمان تماس در حذف رنگ از محیطهای آبی استفاده شد. در آزمایشات از روش پاسخ سطح به منظور ارزیابی اثرات متقابل این متغیرها استفاده شد. غلظت رنگ نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ٥٩٤ نانومتر اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش مقدار جاذب، pH و زمان تماس، راندمان حذف رنگ افزایش یافت در حالی که با افزایش غلظت اولیه رنگ، راندمان حذف کاهش یافت. بیشترین و کمترین درصد حذف رنگ به ترتیب ۹٤ و ۳٥ درصد حاصل شد. آزمون آنالیز واریانس نشان دادکه مدل خطی، بهترین مدل برای تبیین برهمکنش متغیرهای مطالعه می‌باشد.

نتیجه‌گیری: بر مبنای نتایج حاصل از این مطالعه به نظر می‌رسد که کاه جو اصلاح شده می‌تواند به عنوان یک جاذب مناسب، ارزان قیمت و کارا در حذف رنگ کریستال ویوله از محلول‌های آبی مورد استفاده قرارگیرد.

کلمات کلیدی: کاه جو، رنگ کریستال ویوله، فرآیند جذب سطحی، روش پاسخ سطح.

مقدمه

در سال‌های اخیر آلودگی ناشی از فعالیت‌های صنعتی باعث بروز تهدیدهای جدی به محیط زیست شده است. یکی از این آلودگی‌ها، وجود رنگ در پساب صنعتی و رهاسازی آن در منابع آبی می‌باشد. رنگ‌ها در صنایعی مثل صنعت نساجی، کاغذ سازی، داروسازی، چرم سازی، لاستیک سازی، فرش،

* گروه مهندسی بهداشت محیط، معاونت بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بابل، ایران
ایمیل: ghasemimehdi61@gmail.com - شماره تماس: ۰۹۱۰-۱۰۵۲۱۸۳

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.65]

صنایع غذایی و صنایع آرایشی کاربرد دارند.[1] امروزه بیش از ۱۰۰۰۰ نوع رنگ با ساختار مولکولی متفاوت وجود دارد.[2] از نظرساختار شیمیایی، رنگ‌ها را می‌توان به رنگ‌های اسیدی، راکتیو، بازی، دیسپرس، آزو، دی آزو، آنتراکوئینون، فلزی، گوگردی، تری فنیل متان و فتالوسیانین طبقه بندی کرد.[3] رنگ‌ها باعث ممانعت از انتقال کامل نور به داخل آب شده و باعث کاهش عمل فتوسنتز و کاهش اکسیژن محلول در آب می‌شود. همچنین اکثر رنگ‌های مصرفی در نساجی، منشا آلی داشته که می‌تواند سمی و سرطان زا باشد. ترکیبات آلی تولید کننده رنگ های حقیقی باعث بروز مشکلاتی می‌شود. این ترکیب با کلر موجود در آب واکنش داده و سبب افزایش کلر مورد نیاز و نهایتا باعث کاهش تاثیر کلر می‌شود.[4] کریستال ویوله به عنوان یکی از رنگ های سنتتیک کاتیونی متعلق به گروه تری فنیل متان به شمار می‌رود که باعث ایجاد رنگ بنفش در محلول‌های آبی شده، و به آسانی وارد سطح غشای سلولی دارای بار منفی می‌شود.[5] در صنایع نساجی، جوهرسازی و همچنین به عنوان یک رنگ بیولوژیکی در رنگ‌آمیزی گرم مورد استفاده قرار می گیرد. در صنایع دامپروری هم به عنوان یک عامل باکتریواستاتیک به شمار می‌رود. این رنگ غیرقابل‌تجزیه بیولوژیکی و پایدار در محیط است و باعث سرطان، افزایش تپش قلبی، سوزش شدید چشم، استفراغ، سیانوزیس، زردی و نکروز بافت در انسان می‌شود.[6-8] درحال حاضر روشهای مختلف شیمیایی، فیزیکی، بیولوژیکی و یا روشهای تلفیقی برای حذف رنگ از محلولهای آبی استفاده می‌شود. این روش‌ها شامل جذب سطحی، الکترودیالیز، اکسیداسیون پیشرفته، انعقاد و لخته سازی، غشاء تبادل یونی، اولترافیلتراسیون، تجزیه فتوکاتالیستی و اسمزمعکوس می‌باشند. از بین تمامی روشهای موثر در حذف رنگ، جذب سطحی و استفاده از جاذب های ارزان قیمت مثل مواد زاید کشاورزی از قبیل کاه برنج و گندم، پوسته برنج، پوسته بادام، پوست موز ،کلزا و ساقه آفتابگردان به عنوتن متداولترین روش مطرح می باشد.[9,10] مواد زاید کشاورزی شامل لیگنین، سلولز و همی سلولز با گروه های پلی‌فنیک است که نقش مهمی را برای ترکیب شدن با رنگ برعهده‌دارد.[11,12] جو بعد از گندم، ذرت، و برنج چهارمین غله عمده در دنیاست. سطح زیر کشت جو در دنیا در ۷۶ میلیون هکتار و در ایران ۱/۶۴ میلیون هکتار می باشد. [13]ساقه جو هم که یکی از بخش های جو می باشد، که میزان سلولز، همی سلولز و لیگنین آن به ترتیب ۴۵-۳۱، ۳۸-۲۷ و ۱۹-۱۴ درصد می‌باشد.[14] Gong جذب رنگ متبلن بلو را به وسیله کاه برنج اصلاح شده با اسیدسیتریک مورد بررسی قرار داد و ظرفیت جذب کاه خام و اصلاح شده را به ترتیب ۸۰ و ۲۷۰mg/g به دست آورد.[15] Seema با استفاده از پوست سیب، جذب دو رنگ متیلن بلو و کریستال ویوله را مورد مطالعه قرار داد و ظرفیت جذب را به ترتیب ۱۳۰ و ۹۵/۲mg/g به دست آورد.[16] از مدل های آماری مورد استفاده در طراحی آزمایشات، روش پاسخ سطح (Response surface) می باشد که روشی ساده، موثر و اسلوب مند برای بهینه کردن فرآیند های مختلف می‌باشد. این روش را می‌توان به روش طرح مرکب مرکزی (Central composite) و یا باکس بنکن (Box–Behnken) انجام داد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق، با توجه به فراوانی جو در کشورمان، حذف رنگ کریستال ویوله از آب توسط کاه جو اصلاح شده با اسید سیتریک توسط مدل باکس بنکن و اثر متقابل عوامل موثر بر فرآیند شامل pH، زمان تماس، غلظت اولیه رنگ و مقدار ماده جاذب در وضعیت ناپیوسته (Batch) می‌باشد.

مواد و روش ها

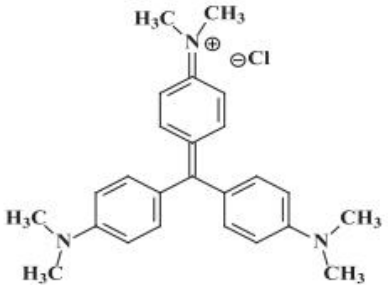
مواد و تجهیزات

این مطالعه، یک مطالعه تجربی- آزمایشگاهی می‌باشد که در سیستم ناپیوسته انجام گردید. رنگ از شرکت الوان ثابت و بقیه مواد شیمیایی از شرکت مرک تهیه گردیده است. رنگ

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.65]

کریستال ویوله دارای فرمول شیمیایی $C_{25}H_{30}CLN_3$، وزن مولکولی ۴۰۷/۹۹ g/mol و طول موج ماکزیمم آن۵۹۴ نانومتر می باشد. ساختار مولکولی رنگ کریستال ویوله در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: ساختار مولکولی رنگ کریستال ویوله

آماده سازی جاذب

بدین منظور، کاه جو از شهرستان ساری تهیه گردید سپس با استفاده از آسیاب دستی خرد و با الک۳۰-۱۸ مش غربال شد تا اندازه جاذب به ۰/۵ میلی‌متر برسد. سپس جهت حذف گردو غبار و خاک با آب دیونیزه شده شسته و در درجه حرات ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. جاذب ها تا قبل از استفاده، در دسیکاتور نگهداری شدند. برای اصلاح کاه، ابتدا کاه با اسید سیتریک ۰/۵ مولار در نسبت یک دوازدهم ($\frac{g}{ml}\frac{w}{v}$ کاه/اسید) مخلوط و برای ۳۰ دقیقه به هم زده شدند. سپس مخلوط مربوطه در ظروف استیل در فور در ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. سپس برای انجام واکنش ترموشیمیایی استری شدن دمای فور را روی ۱۲۰ درجه سانتی گراد به مدت ۹۰ دقیقه تنظیم گردید. بعد از خنک شدن، کاه اصلاح شده توسط آب مقطر با pH خنثی شسته و فیلتر شدند. مواد باقیمانده روی فیلتر را در هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار به مدت ۶۰ دقیقه به هم زده شدند. سپس برای حذف قلیای باقیمانده، جاذب با آب مقطر شسته و برای رسیدن به وزن ثابت آن را در ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید و تا زمان استفاده در دسیکاتور قرار داده شده است.[۱۷]

طراحی آزمایشات

بهینه سازی حذف رنگ با استفاده از روش پاسخ سطحی با به کارگیری مدل باکس بنکن انجام گردید. چهار متغیر مستقل pH، زمان تماس، غلظت رنگ و مقدار جاذب در سه سطح مطابق جدول ۱ انجام گردید. آزمایشات تعیین شده به همراه راندمان حذف، در جدول شماره ۲ آمده است. یک مدل بر هم کنش تقاطعی، برای ارزیابی داده های آزمایش مورد استفاده قرار گرفت که آنالیز داده ها با استفاده از نرم افزار minitab 16 انجام شد. ضرایب با استفاده از آزمون آنالیز واریانس (ANOVA) آنالیز گردید که مقدار $P<۰/۰۵$ به عنوان سطح معنی دار تعیین گردید. هر یک از متغیرهای پاسخ برای درصد حذف رنگ (Y)، در قالب مدل رگرسیون چند جمله‌ای زیر به صورت تابعی از متغیرهای مستقل ارائه شدند.[۱۸،۱۹]

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \sum \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \qquad (۱)$$

که در آن، Y متغیر پاسخ از هر یک از سطوح فاکتورها (درصد حذف)، β_0 عرض از مبدا یا ضریب ثابت، β_i، β_{ii} و β_{ij} به ترتیب ضرایب خطی، درجه دوم و برهمکنش فاکتور های مستقل X و ε پاسخ خطای تصادفی می باشد. کیفیت برازش معادله مدل چند اسمی با استفاده از ضرایب به دست آمده R^2 و مقادیر R^2 متعادل شده(adjusted-R^2) مورد ارزیابی قرار گرفته است تا مناسبت مدل سنجیده شود.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.65]

جدول ۱: چهار متغیر انتخابی در سه سطح

کد متغیر مستقل	متغیرهای مستقل	سطوح		
		زیاد (۱)	متوسط (۰)	کم (۱-)
X_1	pH	۱۱	۷	۳
X_2	غلظت رنگ(میلی‌گرم در لیتر)	۷۵	۵۰	۲۵
X_3	زمان تماس(دقیقه)	۹۰	۶۰	۳۰
X_4	دوز جاذب(گرم در لیتر)	۸	۵	۲

آزمایشات جذب

بعد از طراحی آزمایشات، کلیه آزمایش ها در ارلن‌های ۲۵۰ میلی لیتری، دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و شدت اختلاط ۱۲۰ دور در دقیقه انجام گردید. محلول‌های رنگی با غلظتهای مورد نظ،ر از طریق ترقیق محلول استوک رنگ (۱۰۰۰ mg/L) با آب مقطر تهیه شد. تنظیم pH با استفاده از محلول‌های اسید هیدروکلریک و سدیم هیدروکسید (۱ N) انجام گردید. جهت اختلاط و تماس مناسب جاذب و رنگ از همزن مکانیکی استفاده شد. بعد ار اتمام زمان تماس، نمونه توسط دستگاه سانتریفوژ، صاف شده و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر DR4000 میزان جذب نهایی محلول در طول موج حداکثر ۵۹۴ قرائت و راندمان حذف (Y) طبق رابطه زیر تعیین گردید.

(۲)

$$Y(\%) = \frac{C_0 - C_e}{C_o} \times 100$$

که در آن C_o غلظت اولیه رنگ و C_e غلظت نهایی رنگ در محلول بعد از تماس می‌باشد.

جدول ۲ : نتایج ماتریکس طراحی آزمایش‌های انجام شده مطابق مدل باکس بنکن برای حذف رنگ

شماره آزمایش	X_1(pH)	X_2(غلظت اولیه- میلی‌گرم در لیتر)	X_3 (زمان تماس-دقیقه)	X_4 (دوز جاذب-گرم در لیتر)	Y (راندمان حذف)
۱	۱۱	۲۵	۶۰	۵	۷۵
۲	۳	۵۰	۶۰	۲	۳۷
۳	۷	۵۰	۶۰	۵	۶۰
٤	۱۱	۷۵	۶۰	۵	۷۲
۵	۷	۲۵	۶۰	۸	۷۹
٦	۳	۵۰	۳۰	۵	۳۵
۷	۳	۵۰	۶۰	۸	٤۰
۸	۳	۷۵	۶۰	۵	۳۹
۹	۷	۷۵	۶۰	۸	۵۵
۱۰	۷	۵۰	۹۰	۲	۷۷
۱۱	۷	۵۰	۶۰	۵	٦۳
۱۲	۳	۵۰	۹۰	۵	۵۳
۱۳	۷	۷۵	۹۰	۵	۷۳
١٤	۷	۵۰	۶۰	۵	٦٤
۱۵	۷	۵۰	۳۰	۲	٤۳
١٦	۷	۷۵	۶۰	۲	٤۹
۱۷	۷	۲۵	۳۰	۵	۵۷
۱۸	۷	۷۵	۳۰	۵	٤۷

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.65]

۱۹	۱۱	۵۰	۳۰	۵	٦۱
۲۰	۱۱	۵۰	٦۰	۸	۹۱
۲۱	۱۱	۵۰	٦۰	۲	٦۵
۲۲	۷	۵۰	۹۰	۸	۸۵
۲۳	۷	۲۵	۹۰	۵	۸۱
۲٤	۷	۲۵	٦۰	۲	۵۹
۲۵	۳	۲۵	٦۰	۵	۵۰
۲٦	۱۱	۵۰	۹۰	۵	۹٤
۲۷	۷	۵۰	۳۰	۸	٤۵

یافته‌ها

آزمایشات، تحت شرایط تعیین شده توسط مدل باکس بنکن به روش استاندارد انجام شد که نتایج آن در جدول شماره ۲ آورده شده است. همان‌طوری که جدول ۳ نشان می‌دهد، مدل به لحاظ آماری به دلیل اینکه p-value آن کمتر از ۰/۰۵ است با شرایط خطی رابطه معنی دار دارد. بنابراین راندمان حذف رنگ توسط متغیر های معنی دار طبق رابطه زیر به دست می آید.

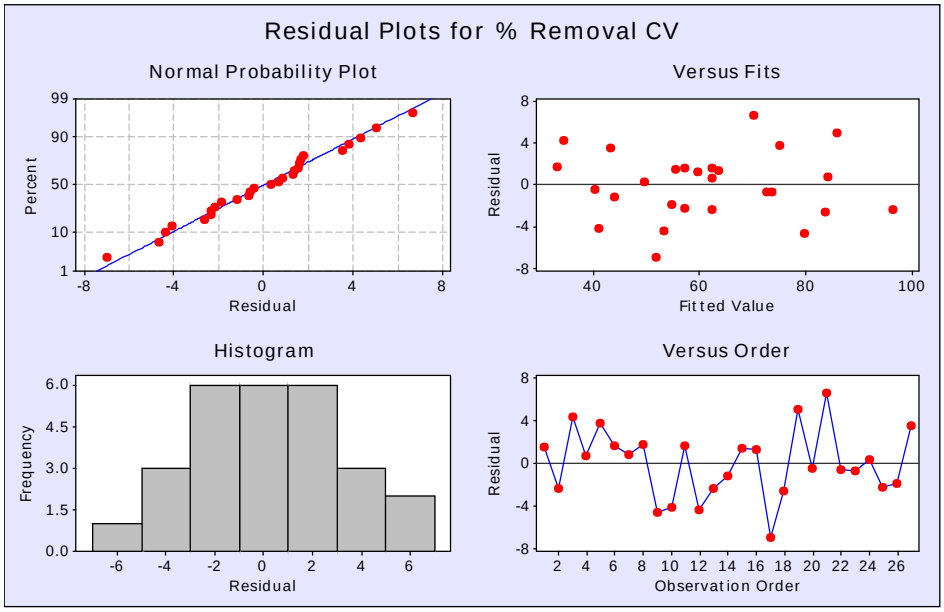
$$Y=62.3+17pH-5.5C+14.58T+5.41D+5.75\ pH\times D \quad (۳)$$

تأیید مدل پاسخ سطحی

در تحلیل آزمایش‌ها و استفاده از مدل‌های خطی، تمام کارها با داشتن این فرض انجام می شود که باقیمانده دارای توزیع نرمال با میانگین صفر، واریانس ثابت ∂^2 و مستقل باشد. نمودار شماره ۱، درستی این فرض ها را می‌تواند نشان دهد. نمودار سمت چپ بالا و پایین برای بررسی نرمال بودن باقیمانده‌ها است و با توجه به این که انحرافی در نرمال بودن باقیمانده دیده نمی شود فرض نرمال بودن باقیمانده‌ها اثبات می شود. نمودار سمت راست و بالا، برای بررسی فرض ثابت بودن واریانس باقیمانده هاست، در صورتی که در این نمودار روند خاصی دیده نشود فرض ثابت بودن واریانس هم پذیرفته می شود. در این نمودار، روند خاصی که بیان کننده زیاد شدن یا کم شدن واریانس باشد دیده نمی‌شود، پس فرض ثابت بودن واریانس نیز پذیرفته می‌شود. نمودار سمت راست و پایین، برای بررسی استقلال بین باقیمانده‌ها است. درصورت مشاهده نشدن هر گونه روندی مانند سینوسی بودن در این نمودار فرض مورد نظر نیز پذیرفته می شود. در این نمودار، روند خاصی که بتوان با آن فرض استقلال باقیمانده‌ها را رد کرد دیده نمی‌شود. بنابراین در مجموع با توجه به تحلیل نمودار شماره ۱ و مورد قبول شدن فرض های مورد نظر و همچنین ضرایب به دست آمده از R^2 و مقادیر R^2 متعادل شده (adjusted-R^2) در جدول شماره ۳، می‌توان گفت مدل انتخاب شده برای تحلیل داده‌ها مناسب می‌باشد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.65]



نمودار ۱: ترسیم توزیعی داده های آزمایش در مقابل مقادیر پیش‌بینی‌شده برای حذف رنگ کریستال ویوله توسط کاه جو اصلاح شده

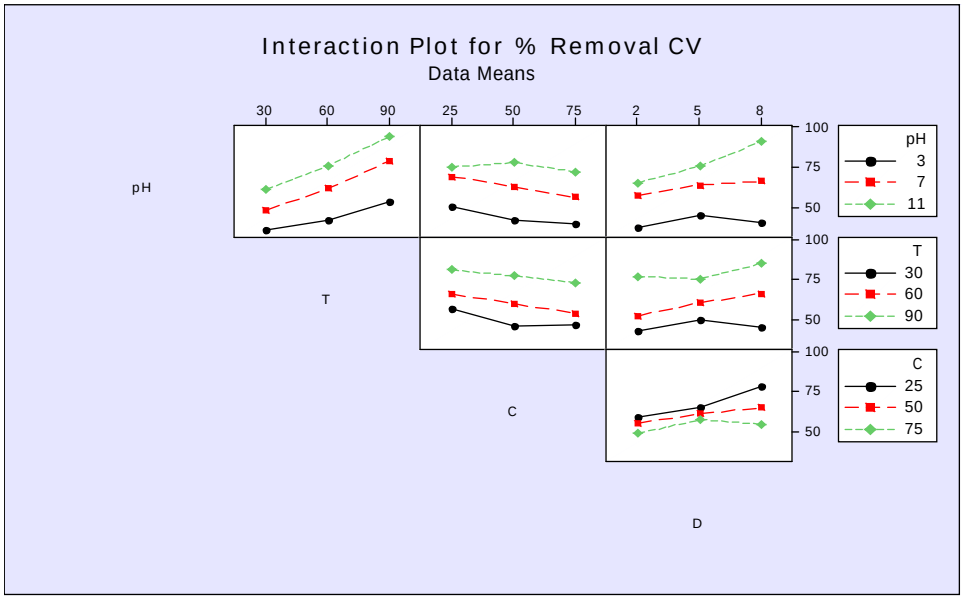
جدول ۳: ضرایب رگرسیون مدل پاسخ سطحی برای درصد حذف رنگ کریستال ویوله توسط کاه جو اصلاح شده

واژه	ضریب تخمین	خطای استاندارد	T	P-Value
ضریب ثابت	٦٢/٣	٢/٧٢	٢٢/٨٨	٠/٠٠٠
pH	١٧	١/٣٦	١٢/٤٨	٠/٠٠٠
C	-٥/٥	١/٣٦	-٤/٠٣	./٠٠٢
T	١٤/٥٨	١/٣٦	١٠/٧	./٠٠٠
D	٥/٤١	١/٣٦	٣/٩٧	./٠٠٢
pH× pH	-٣/٠٨	٢/٠٤	-١/٥	٠/١٥
C×C	-٠/٠٨	٢/٠٤	-٠/٠٤	٠/٩٦
T×T	١/٧٩	٢/٠٤	٠/٨٧	٠/٣٩
D×D	-١/٤٥	٢/٠٤	-٠/٧١	٠/٤٨
pH×C	٢	٢/٣٥	٠/٨٤	٠/٤١
pH×T	٣/٧٥	٢/٣٥	١/٥٩	./١٣
pH×D	٥/٧٥	٢/٣٥	٢/٤٣	٠/٠٣
C×T	٠/٥	٢/٣٥	./٢١	./٨٣
C×D	-٣/٥	٢/٣٥	-١/٤٨	٠/١٦
T×D	١/٥	٢/٣٥	٠/٦٣	٠/٥٣

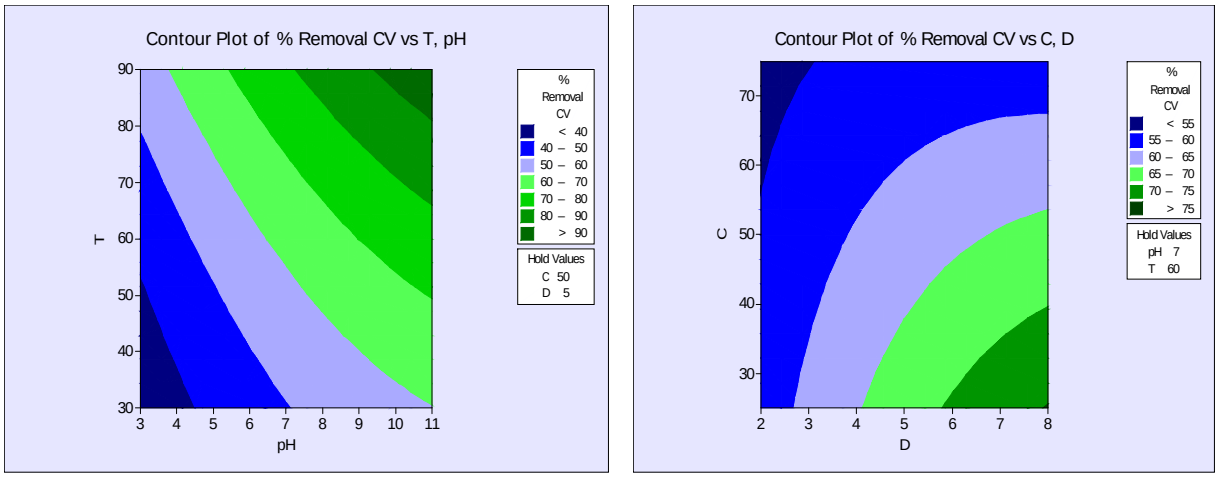
S =٤/٧ R-Sq = ٩٦/٣ R-Sq(adj)=٩٢/١

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.65]



نمودار ۲: پیش بینی میانگین درصد حذف رنگ کریستال ویوله توسط کاه جو اصلاح شده به وسیله برهمکنش متغییر های اصلی (pH، غلظت اولیه رنگ، زمان تماس، دوز جاذب)



a b

نمودار ۳: ترسیم توزیعی داده های آزمایش در مقابل مقادیر پیش بینی شده (a: اثر متقابل مقدار زمان تماس و pH ؛ b: اثر متقابل دوز جاذب و غلظت اولیه رنگ)

بررسی متغیرها بر راندمان حذف

همان طوری که جدول شماره ۱ نشان می‌دهد، در این مطالعه از فاکتور های pH، زمان تماس، دوز جاذب و غلظت اولیه رنگ استفاده شده است. با توجه به نمودار شماره ۲ که بر همکنش این فاکتورها را نشان می دهد و همچنین نمودارهای شماره ۳a و ٤b، در مجموع می‌توان فهمید که راندمان جذب با افزایش زمان تماس، مقدار جاذب و pH و با کاهش غلظت رنگ، افزایش می‌یابد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.65]

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، ظرفیت جذب بالای کاه اصلاح شده احتمالا به دلیل افزایش گروه کربوکسیل در کاه در نتیجه ساختار مولکولی اسید سیتریک بوده است.[۲۰] در بررسی Chakraborty، میزان حذف کریستال ویوله را با پوسته برنج اصلاح شده با هیدروکسید سدیم مورد مطالعه قرار داد و ظرفیت جذب را مطلوب و در حدود ٤٤/٨٧ میلی گرم به ازای هر گرم جاذب به دست آورد.[۲۱] Sudamalla در مطالعه خود با روش باکس بنکن، ٤ فاکتور درجه حرارت، غلظت رنگ، دوز جاذب و pH را برای حذف رنگ کریستال ویوله مورد بررسی قرار داد و در مجموع با در نظر گرفتن برهمکنش متقابل فاکتورها، راندمان حذف رنگ را ۸۹ درصد به دست آوردند.[۲۲]

مهم‌ترین پارامتر برای جذب فلزات توسط جاذب، pH است. همان طوری که در نمودار ۲ و ۳a مشخص است، میزان حذف رنگ کاملا به pH وابسته است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که تغییرات pH محیط و افزایش آن از ۳ تا ۱۱ باعث افزایش میزان درصد حذف می‌شود. با افزایش pH در سیستم مورد مطالعه، میزان یون هیدروکسیل در محلول مورد نظر بالا رفته و این باعث می‌شود سطح جاذب پروتئین از دست دهد و به این ترتیب، بار منفی سطح جاذب تقویت شده و میزان نیروی جاذبه الکترواستاتیکی بین رنگ کریستال ویوله که دارای بار مثبت ($=N^{+}(CH_3)_2$) می باشد و سطح جاذب افزایش و به دنبال آن جذب رنگ نیز افزایش‌خواهدیافت.[۲۳، ۲٤] Teng Ong در مطالعه‌ای میزان حذف رنگ متیلن بلو را توسط پوسته برنج اصلاح شده با اسیدتارتاریک مورد مطالعه قرار داد و پی‌بردند که با افزایش pH درصد حذف رنگ بیشتر می‌شود.[۲۳] Mona نیز در تحقیقی که در باره حذف کریستال ویوله از بیومس Nostoc linckia توسط روش طرح مرکب مرکزی انجام داد، به نتیجه مشابه این تحقیق دست یافت که با افزایش pH راندمان حذف بیشتر می‌شود.[۲۵]

با افزایش زمان تماس، به دلیل اینکه شانس برخورد مولکول های رنگ با جاذب بالا می رود، مقدار جذب بیشتر می شود (نمودار ۳a). Ahmad در مطالعه خود اثر زمان تماس را بر روی حذف رنگ کریستال ویوله با استفاده از پودر پوست coniferous pinus مورد بررسی قرار داد و به نتیجه مشابهی مبنی بر افزایش راندمان جذب با افزایش زمان تماس دست‌یافت.[۲۶]

با بررسی تاثیر غلظت اولیه رنگ در این مطالعه، مشخص شد که میزان درصد حذف از ۲۵ میلی گرم در لیتر به ۷۵ میلی‌گرم در لیتر کم می‌شود (نمودار ۳b). این کاهش درصد به خاطر فقدان سطح کافی برای غلظت های زیاد رنگ می تواند باشد. به عبارت دیگر، می توان گفت در غلظت های خیلی زیاد به دلیل اینکه نسبت سطح فعال جذب به مولکول های رنگ محلول کم است میزان درصد حذف کم است .Saha در تحقیقی مشابه حذف رنگ کرستال ویوله را توسط پودر برگ گیاه jackfruit را مورد مطالعه قرار دادند و به به این موضوع پی‌برد که با افزایش غلظت رنگ درصد حذف رنگ کم می‌شود.[۲۷]

بررسی اثر مقدار جاذب بر فرآیند جذب نشان داد (نمودار۳b) که با افزایش مقدار جاذب درصد حذف نیز زیاد می‌شود زیرا تعداد سایت‌های فعال جذب بر روی جاذب که می تواند در اختیار رنگ قرار گیرد، افزایش می‌یابد. Singh در مطالعه حذف کریستال ویوله با استفاده از نانوکامپوزیت و روش طرح مرکب مرکزی، به نتیجه مشابه این تحقیق دست‌یافت که با افزایش دوز جاذب درصد حذف رنگ بیشتر می‌شود.[۲۸]

با توجه به یافته‌های پژوهش و جدول شماره۲ بیشترین و کمترین درصد حذف رنگ به روش باکس‌بنکن به ترتیب در آزمایش شماره ۲٦ و ٦ به دست آمد که به ترتیب حدود ۹٤ و ۳۵ درصد بوده است. در نهایت می‌توان نتیجه گیری کرد که روش طراحی آزمایش، روشی کارآمد در کم کردن هزینه‌ها و آزمایشات و همچنین با بررسی اثرات متقابل متغیرها

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.65]

به‌شمارمی‌آید و از کاه جو اصلاح شده هم می‌توان به عنوان یک جاذب کم هزینه و فراوان در جذب رنگ کریستال ویوله به کاربرد.

سپاسگزاری

از معاونت تحقیقات و فناوری و مرکز تحقیقات دانشگاه علوم بهداشتی بابل به خاطر حمایت‌های مادی و معنوی از این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Arthy M, Saravanakumar MP. Isotherm modeling, kinetic study and optimization of batch parameters for effective removal of Acid Blue 45 using tannery waste. J Mol Liq 2013;187: 189-200.
2. Gamal O, El-Sayed. Removal of methylene blue and crystal violet from aqueous solutions by palm kernel fiber. Desalination 2011;272: 225-32.
3. McMullan G MC, Conneely A, Kirby N, et al. Microbial decolourisation and degradation of textile dyes. Appl Microbiol Biot 2001;56: 81-7.
4. Siboni MS, Fallah S, Tajasoi S. removal of acid red 18 and reactive black dys from aquatic solution by using of adsorption on azolla filiculoides: akinetic study. J Gilan U Med Sci 2014;22: 42-50 [in Persian].
5. Singh KP, Gupta S, Singh AK, Sinha S. Optimizing adsorption of crystal violet dye from water by magnetic nanocomposite using response surface modeling approach. J Hazard Mater 2011;186: 1462-73.
6. Saeed A, Sharif M, Iqbal M. Application potential of grapefruit peel as dye sorbent: Kinetics, equilibrium and mechanism of crystal violet adsorption. J Hazard Mater 2010;179: 564-72.
7. Saha PD, Chakraborty S, Chowdhury S. Batch and continuous (fixed-bed column) biosorption of crystal violet by Artocarpus heterophyllus (jackfruit) leaf powder. Coll Surf B 2012;92: 262-70.
8. Shengfang L. Removal of crystal violet from aqueous solution by sorption into semi-interpenetrated networks hydrogels constituted of poly (acrylic acid-acrylamide-methacrylate) and amylose. Bioresource Technol 2010;101: 2197-202.
9. Demirbas A. Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: A review. J Hazard Mater 2009;167: 1-9.
10. Thinakaran N, Baskaralingam P, Pulikesi M, et al. Removal of Acid Violet 17 from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon prepared from sunflower seed hull. J Hazard Mater 2008;151: 316–22.
11. Garg VK, Amita M, Kumar R, et al . Removal methylene blue from simulated wastewater by adsorption using Indian Rosewood sawdust: a timber industry waste, Dyes Pigm 2004;63 243–50.
12. Özacar M, Sengil A.I., Adsorption of metal complex dyes from aqueous solutions by pine sawdust, Bioresource Technol 2005;96: 791–95.
13. Omidi M. Study of morphological and biochemical traits in barley. Iran J Agric Res 2001;32(4): 773-83 [in Persian].
14. Miretzky P, Cirelli A. Cr (VI) and Cr (III) removal from aqueous solution by raw and modified lignocellulosic materials: A review. J Hazard Mater 2010;180(1): 1-19.
15. Gong R, Jin Y, Chen F, et al. Enhanced malachite green removal from aqueous solution by citric acid modified rice straw. J Hazard Mater 2006;137(2): 865-70.
16. Seema J, Jayaram RV. Removal of basic dyes from aqueous solution by low-cost adsorbent: Wood apple shell (Feronia acidissima). Desalination 2010;250: 921-7.
17. Gong R, Jin Y, Chen F, et al. Enhanced malachite green removal from aqueous solution by citric acid modified rice straw. J Hazard Mater 2006;137(2): 865-70.
18. Kumar A, Prasad B, Mishra M. Optimization of process parameters for acrylonitrile removal by a low-cost adsorbent using Box–Behnken design. J Hazard Mater 2008;150: 174-82.
19. Zazouli MA, Tilaki RAD, Safarpour M. Nitrate Removal from Water by Nano zero Valent Iron in the Presence and Absence of Ultraviolet Light. J Mazandaran U Med Sci 2014;24(113): 151-61 [in Persian].
20. Han R, Zhang L, Song C, et al. Characterization of modified wheat straw, kinetic and equilibrium study about copper ion and methylene blue adsorption in batch mode. Carbohydr Polym 2010;79(4): 1140-9.
21. Chakraborty S, Chowdhury S, Saha PD. Adsorption of Crystal Violet from aqueous solution onto NaOH-modified rice husk. Carbohydr Polym 2011;86: 1533-41.
22. Sudamalla P, Saravanan P, Matheswaran M. Optimization of operating parameters using response surface methodology for adsorption of crystal violet by activated carbon prepared from mango kernel. Environ Res 2012;22(1): 1-7.
23. TengOng S, Keng P-S, Chong A-W, et al. Tartaric Acid Modified Rice Hull as a Sorbent for Methylene Blue

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.65]

Removal. Am J Environ Sci 2010;6(3): 244-8.

24. Mittal A, Mittal J, Malviya A, et al. Adsorption of hazardous dye crystal violet from wastewater by waste materials. J Coll Interf Sci 2010;343: 463-73.

25. Mona S, Kaushik A, Kaushik CP. Waste biomass of Nostoc linckia as adsorbent of crystal violet dye:Optimization based on statistical model. Int. Biodeterior. Biodegradation 2011;65: 513-21.

26. Ahmad R. Studies on adsorption of crystal violet dye from aqueous solution onto coniferous pinus bark powder (CPBP). J Hazard Mater 2009;171: 767–73.

27. Saha PD, Chakraborty S, Chowdhury S. Batch and continuous (fixed-bed column) biosorption of crystal violet by artocarpus heterophyllus (jackfruit) leaf powder. Coll Surf B 2012;92: 262-70.

28. Singh KP, Gupta S, Singh AK, Sinha S. Optimizing adsorption of crystal violet dye from water by magnetic nanocomposite using response surface modeling approach. J Hazard Mater 2011;186: 1462–73.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.65]

Efficiency of Response Surface Methodology for Optimizing Removal of Crystal Violet (CV) from Aqueous Solutions by Modified Barley Straw

Abdoliman Amoei[1], Hosein Ali Asgharnia[1], Kamaleddin Karimian[2], Yosef Mahdavi[3], Davoud Balarak[3], Seyed Mehdi Ghasemi[4*]

1. Department of Environmental Health Engineering, School of Allied Medical Sciences, Babol university of Medical Sciences, Babol, Iran

2. Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3. Department of Environmental Health Engineering , Mazandaran university of Medical Sciences, Sari, Iran

4. Department Environmental Health Engineering , Health Department, Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran

E-mail: ghasemimehdi61@gmail.com

Received: 9 Jun 2014 ; Accepted: 21 Sep 2014

ABSTRACT

Background: One of the most important sources of environmental pollution is dye from industrial wastewater which is harmful for human health and environment. Therefore, the aim of this study was to evaluate removal of Crystal violet (CV) dye from aqueous solutions by citric acid modified barley straw using response surface methodology.

Methods: This research was an experimental-laboratory study. The batch experiment was conducted to evaluate the effect of pH, dye concentration, adsorbent dosage, and contact time on dye removal from aqueous solution. Response surface methodology was applied to appraise the effect of these different variables. The dye concentration in the solutions was measured by spectrophotometer at the wavelength of 594 nm.

Results: The result of this research showed that dye removal efficiency was increased by increasing of adsorbent dosage, pH, and contact time, whilst decreased by increasing of initial dye concentration. The Maximum and minimum dye removal were obtained 94 and 35 percent, respectively. Analysis of variances test showed that the linear model was the best model to explain the interaction of variables.

Conclusion: According to the obtained results, modified barley straw appears to be used as a suitable, low cost, and efficient adsorbent for removal crystal violet dye from aqueous solutions.

Keywords: Barley straw, Crystal violet dye, Adsorption process, Response surface methodology.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.65]